

# 質量体を用いた建設振動の伝播経路対策技術の開発 —実大実験による振動低減効果の検討—

## Development of Countermeasure using Mass-Object for Control of Construction Vibration in Propagation Paths (Study of Vibration Reduction Effect by Full Scale Experiment)

岩根 康之<sup>\*1</sup>  
Yasuyuki Iwane

小林 真人<sup>\*1</sup>  
Masahito Kobayashi

川澄 卓也<sup>\*1</sup>  
Takuya Kawasumi

千葉 泰河<sup>\*2</sup>  
Taiga Chiba

松本 泰尚<sup>\*2</sup>  
Yasunao Matsumoto

### 【要旨】

建設工事の地盤振動対策として、質量体を用いた伝播経路対策技術を開発している。本稿では、実大実験により質量体の振動低減効果を確認し、質量体の質量と伝播方向の長さ（以下、奥行と称する）が低減効果に与える影響について検討した結果について報告する。

実験では起振器加振、重機の低速走行加振と高速走行加振の3通りの加振方法を実施したが、質量体は加振条件にかかわらず低減効果を発揮することを確認した。さらに、質量体の質量を大きく、また奥行を長くすることで低減効果は低い振動数から現れ、低減量が大きくなる傾向を確認した。質量を大きくすることで地表面の変位を拘束する力が増加し、奥行を長くすることで波長の長い振動に対して低減効果を発揮したと考えられた。

【キーワード】 建設振動 伝播経路対策 質量体 実大実験

## 1. はじめに

建設工事の地盤振動対策として、質量体を用いた伝播経路対策技術を開発している<sup>1)2)</sup>。質量体はおもりからなる構造物で、振動の伝播経路となる地盤上に設置することで地表面の変位を拘束し、質量体の背面側への振動伝播を低減させる。従来の伝播経路対策技術としては空溝や防振壁などがあるが<sup>3)</sup>、質量体はこれらの対策に比べて設置撤去が容易であり、建設工事における仮設の振動対策として実用性に優れている。既報では、縮尺1/40の模型実験により質量体の振動低減効果を検討し、質量体の質量が大きくなるほど低い振動数から低減効果が現れ、低減量が大きくなることを確認した。また質量体の面密度を一定として奥行を長くすることでも、低減効果は低い振動数から現れ、低減量が大きくなる傾向を確認した。本稿では、実大実験を実施して質量体の振動低減効果を確認し、質量体の質量や奥行に対する低減効果の関係について検討した結果について報告する。

## 2. 質量体の概要

質量体は地表面の変位を拘束することで低減効果を発揮するため、地表面の変位に抵抗することができる剛性を持ち、かつ質量体全体が一体となって挙動する構造が

理想的と考えられる<sup>4)</sup>。一方で、建設工事の仮設備として導入することを考慮すると、ハンドリングのよい材料で構成されることが望ましい。そこで本実験における質量体の構成は、地盤との接地面に鋼板を敷設して剛性を確保し、その上に大型土のうを複数設置して質量を付与し、地表面の拘束力を向上させる構造とした。図-1に実験で使用した質量体の例を示す。鋼板は厚さ $t=22\text{ mm}$ で、1枚当たりの平面寸法は $1,150\text{ mm}\times 4,600\text{ mm}$ として大型土のうを4袋並べられる大きさとした。複数の鋼板を並べて敷設し、緊結金具を使用して連結した。大型土のう1袋当たりの質量は約 $940\text{ kg}$ とした。



図-1 実験で使用した質量体の例



a) 起振器加振      b) 重機低速走行, 高速走行

図-2 実験状況

### 3. 実験概要

#### 3.1 加振方法

実験では、起振器加振、重機の低速走行加振および高速走行加振の3種類の加振方法を設定した。図-2に実験状況を示す。起振器加振では、2台の起振器(SSV-125, サンエス)を同期し、3~25 Hzで鉛直方向の掃引加振を行った。起振器1台の可動部質量は約20 kgとし、加速度最大値は1.5 G peakとした。重機走行加振では、バケット容量が0.28 m<sup>3</sup>、機械質量が7600 kgのバックホウ(ViO70, YANMAR)を使用し、走行速度を低速または高速(低速走行速度:2.5 km/h, 高速走行速度:4.5 km/h, ※カタログ参照)として走行した際に発生する振動を加振力とした。クローラの接地面が6 mとなる範囲を3往復走行した。

#### 3.2 実験配置

図-3に実験配置を示す。質量体は加振位置との中心距離が6 mとなる位置に配置した。測定点について、PU1は起振器加振の場合は起振器の可動部に加速度ピックアップ(PV-85, RION)を設置し、重機走行加振の場合は地盤上に振動レベル計(VM-55, RION)を設置した。なお、地盤上に振動レベル計を設置する際は、鋼製の板と杭が一体となった治具を地盤に打ち込み、その上にピックアップを設置した。その他の測定点も地盤上に振動レベル計を設置した。PU2は加振位置から質量体の反対側に4 mの位置とし、PU3は質量体中央の鋼板上、PU4, PU5, PU6は質量体の中央から6 m, 10 m, 14 mの位置とした。またPU7はPU4の側方に4 mの位置とした。

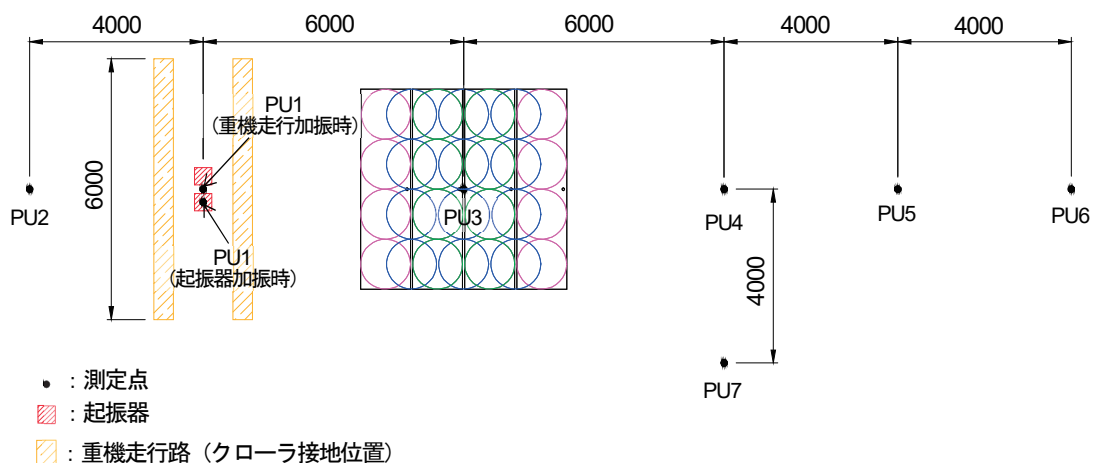


図-3 実験配置

PU6は質量体の中央から6 m, 10 m, 14 mの位置とした。またPU7はPU4の側方に4 mの位置とした。

#### 3.3 低減効果の評価方法

低減効果の評価方法について、加振位置(PU1)の加速度を入力信号、その他の測定点(PU2~PU7)の加速度を出力信号として、式(1)より伝達関数 $H(f)$ を算出した。

$$H(f) = \frac{P_{yx}(f)}{P_{xx}(f)} \quad (1)$$

$P_{yx}(f)$ : 入力信号 $x$ と出力信号 $y$ のクロスパワースペクトル密度

$P_{xx}(f)$ : 入力信号 $x$ のパワースペクトル密度

質量体が未設置の場合の伝達関数 $H_{w/o}$ と質量体を設置した場合の伝達関数 $H_w$ の比を取り、式(2)によって伝達関数の低減量 $RL$ を算出し、振動低減効果の評価量とした。

$$RL = 20 \log_{10} \frac{H_{w/o}}{H_w} \quad (2)$$

#### 3.3 実験場所の地盤特性

実験は飛鳥建設の技術研究所内にある屋外実験ヤードにて行った。実験場所の地盤特性を把握するため、質量体設置位置の近傍にてサイスミックコーン貫入試験(SCPT)を実施した。試験によって得られた土質分類とせん断波速度 $V_s$ および $N$ 値を図-4に示す。なお、図-4の土質分類は式(3)によって求められる基準化先端抵抗 $Q_t$ と、式(4)によって求められる基準化周面摩擦比 $F_r$ の関係から得られたものである。

$$Q_t = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \quad (3)$$

$$F_r = \frac{f_s}{q_t - \sigma_{vo}} \quad (4)$$

- $q_t$  : 補正先端抵抗 (kPa)
- $\sigma_{vo}$  : 総土被り圧 (kPa)
- $\sigma'_{vo}$  : 有効土被り圧 (kPa)
- $f_s$  : 周面摩擦 (kPa)

また、 $N$  値は式(5)によって求められた換算  $N$  値  $N_c$  である。

$$N_c = 0.341I_c^{1.94}(q_t - 0.2)^{(1.34 - 0.0927I_c)} \quad (5)$$

$N_c$  : 換算  $N$  値

$q_t$  : 補正先端抵抗 (MPa) ( $q_t > 0.2 \text{ MPa}$ )

$I_c$  : 土質性状指数

$$I_c = [(3.47 - \log Q_t)^2 + (\log F_r + 1.22)^2]^{0.5} \quad (6)$$

試験結果によると、一部  $N$  値が 20 程度の薄い砂～礫混じり砂が介在するが、深さ 6.07 m までの表層では  $N$  値が 5 以下、せん断波速度が 100 m/s 前後の軟らかい地盤であることが分かる。

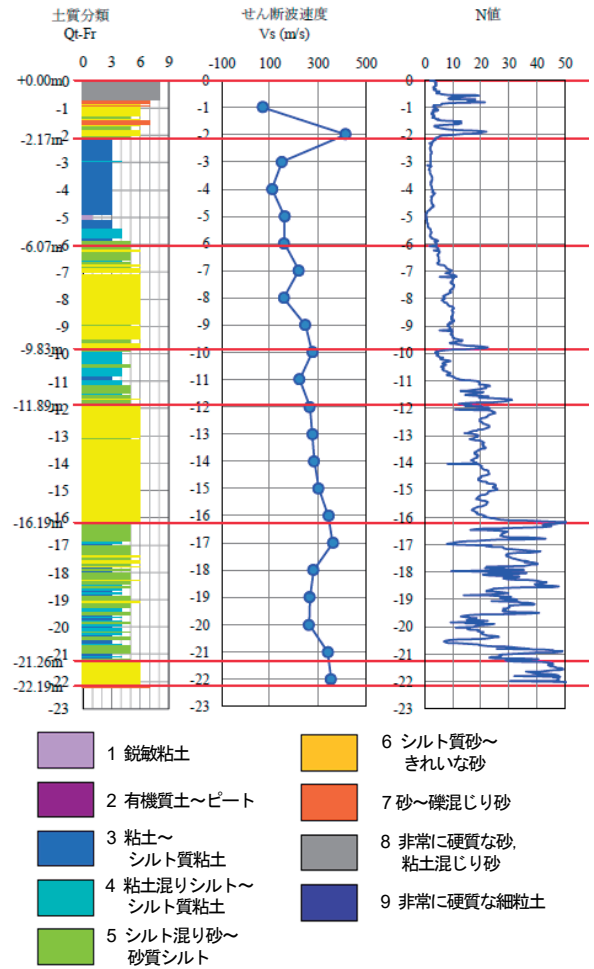


図-4 実験場所の地盤特性調査結果

### 3.4 実験の検討項目と質量体の構成

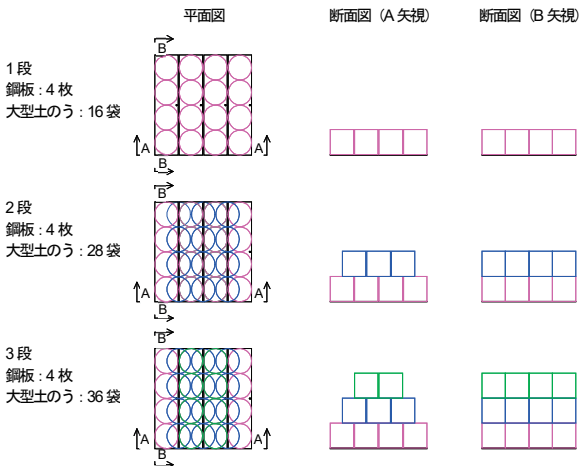
実験では、下記の2項目を検討項目とした。

- a) 質量体の質量と低減効果の関係
- b) 質量体の奥行と低減効果の関係

図-5 に検討項目ごとの質量体の構成を示す。質量体の質量の影響の検討では、質量体の接地面積を鋼板4枚分 (4,600 mm×4,600 mm, 3.7 t) (※緊結金具を除く。以下同様。) で一定とし、大型土のうの段数を1段 (16袋, 15.0 t), 2段 (28袋, 26.3 t), 3段 (36袋, 33.8 t) の3通りに設定した。なお、安全を考慮して大型土のうは振動伝播方向に1:0.5の勾配を付けて積層した。質量体の奥行の影響の検討では、大型土のうの段数は3段とし、振動伝播方向の接地面積を鋼板4枚分 (鋼板; 4,600 mm×4,600 mm, 3.7 t, 大型土のう; 36袋, 33.8 t), 6枚分 (鋼板; 6,900 mm×

4,600 mm, 5.5 t, 大型土のう; 60袋, 56.4 t), 8枚分 (9,200 mm×4,600 mm, 7.3 t, 大型土のう; 84袋, 79.0 t) の3通りとした。なお、実験は条件ごとに異なる日に実施したため、天候等により地盤条件が変化する可能性があった。そこで、質量体が未設置の  $H_{w/o}$  を測定日ごとに測定し、同じ日に測定した  $H_{w/o}$  と  $H_w$  を用いて  $RL$  を算出した。

#### a) 質量体の質量と低減効果の関係



#### b) 質量体の奥行と低減効果の関係

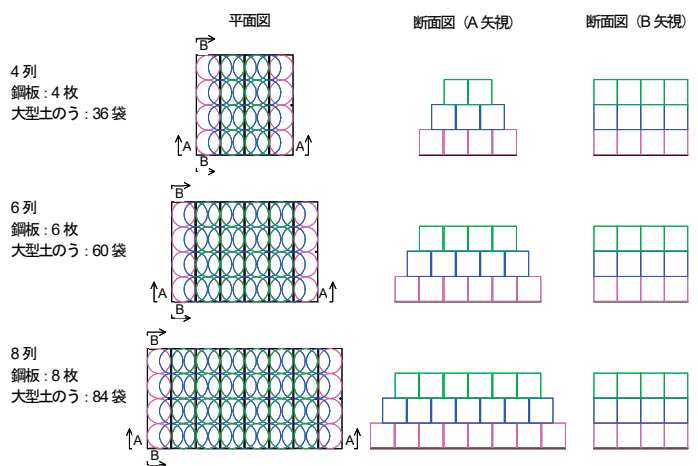


図-5 検討項目ごとの質量体の構成

## 4. 実験結果

### 4.1 質量体の質量と低減効果の関係

図-6から図-8に加振条件ごとの振動低減効果（質量体の質量による比較）を示す。なお本稿では、起振器加振時の加速度応答において十分なS/Nが得られたと判断された8Hz以上の測定結果を示す。図-6のPU4に着目すると、RLが最も大きくなった振動数範囲は1段では22 Hz以上、2段では16~20Hz、3段では12~16Hzであり、質量が大きいほど低い振動数から低減効果が現れたことが確認できる。PU5からPU7についても、RLのピーク振動数に差はあるが、質量が大きいほど低い振動数から低減効果が現れた。これは、質量を大きくすることで地盤を拘束する力が増加したためと考えられる。また測定点によって低減効果の現れ方が異なる原因について、空溝や防振壁などの他の伝播経路対策では、低減効果は対策工の近傍で大きく、距離が離れるにつれて小さくなる傾向がある。質量体でも同様に、質量体に対する測定点の距離によって低減効果が変わることや、測定点ごとの局所的な地盤特性によって低減効果の発現状況に違いが生じたことが考えられる。

重機走行加振時の図-7と図-8について、2段と3段の差は起振器加振時に比べ小さかったが、質量が大きいほど低い振動数から低減効果が現れる傾向が確認された。また、起振器加振時と比較するとRLの現れ方に異なる部分を確認できる。この原因について、起振器加振時は加振点が定点であるのに対して重機走行加振は移動加振であるため、加振点と質量体に対する測定点の位置関係が異なり、低減効果の現れ方に違いが生じたと考えられる。また、重機の低速走行と高速走行を比較すると、RLの振

動数特性はおおむね類似しており、加振力の大きさや振動数特性が変化しても安定して質量体の低減効果が発揮されたことが確認できる。

### 4.2 質量体の奥行と低減効果の関係

図-9から図-11に加振条件ごとの振動低減効果（質量体の奥行による比較）を示す。図-9のPU4に着目すると、奥行が長いほど低減効果は低い振動数から現れ、低減量は大きくなる傾向が確認された。質量体の奥行が長くなることで全体の質量が大きくなるとともに、地表面を拘束する面積が大きくなることで低い振動数の低減

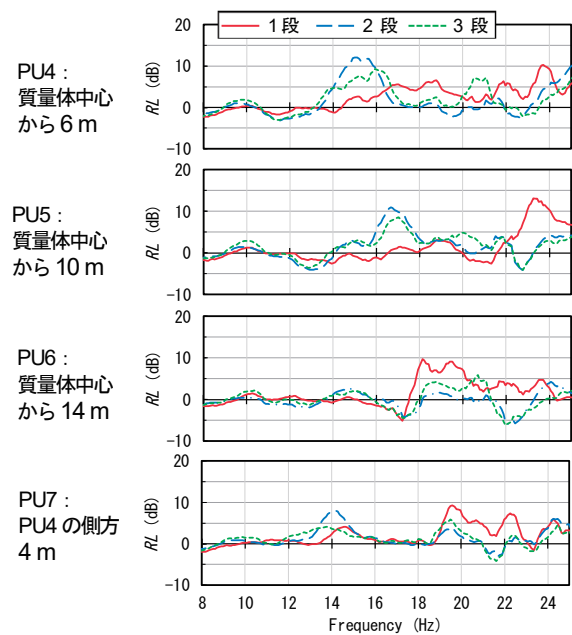


図-6 起振器加振時の振動低減効果（質量体の質量による比較）

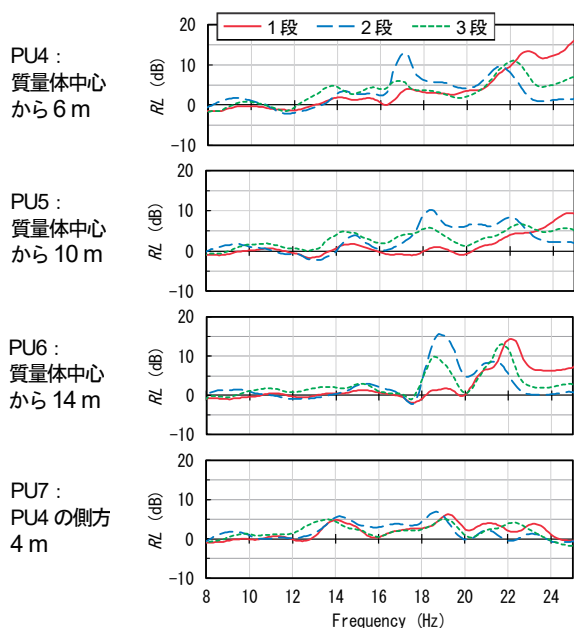


図-7 重機低速走行加振時の振動低減効果（質量体の質量による比較）

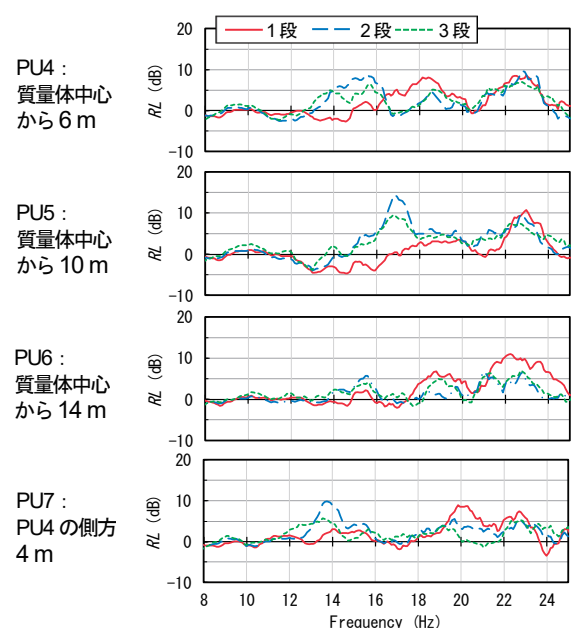


図-8 重機高速走行加振時の振動低減効果（質量体の質量による比較）

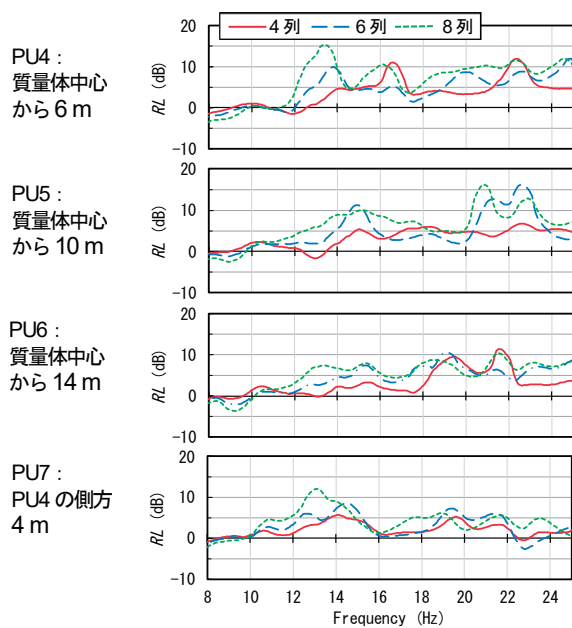


図-9 起振器加振時の振動低減効果（質量体の奥行による比較）

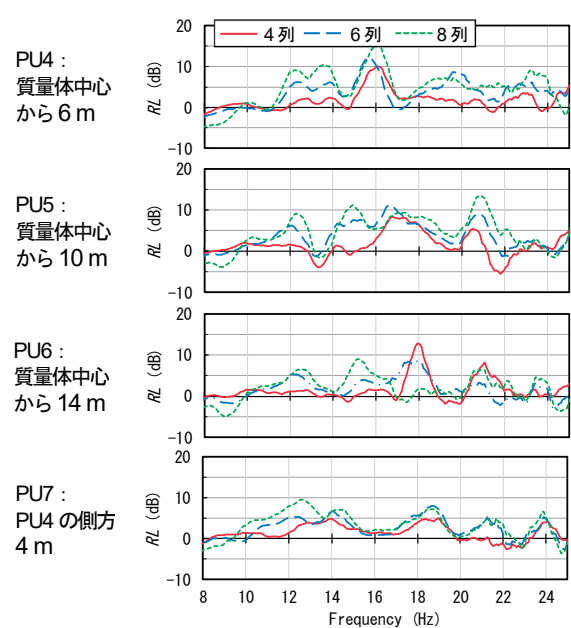


図-10 重機低速走行加振時の振動低減効果（質量体の奥行による比較）

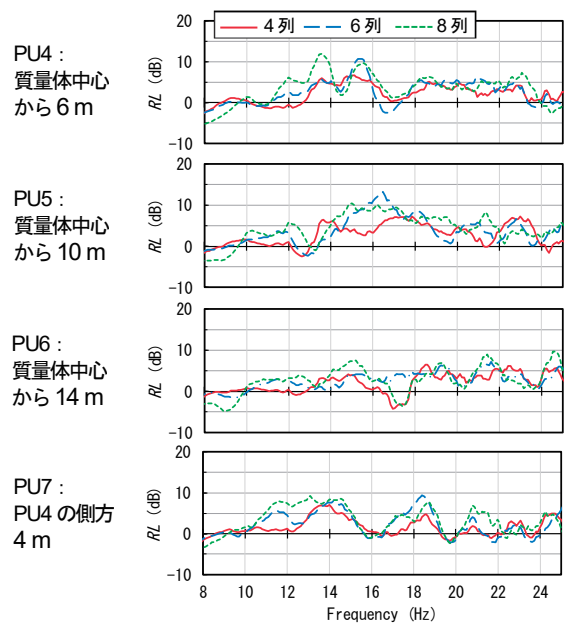


図-11 重機高速走行加振時の振動低減効果（質量体の奥行による比較）

効果が向上したと考えられる。また14Hz以上の振動数においても、一部のピーク、ディップを除いては奥行が長いほどRLは大きくなった。PU5からPU7についても同様に、質量体の奥行が長いほど低い振動数から低減効果が現れ、また低減量が大きくなる傾向が確認された。

図-10と図-11の重機走行加振についても、起振器加振と同様に奥行が大きいほど低減効果は低い振動数から現れ、低減量が大きくなる傾向が確認された。測定点や加振条件によってばらつきがあるが、奥行が最も長い8列では、約10Hzから低減効果が現れ、12Hzで5~10dBの低減効果を確認した。

## 5. おわりに

実大実験によって質量体の振動低減効果を検討し、以下を確認した。

- ・質量体の低減効果は質量に依存し、質量が大きいほど低減効果は低い振動数から現れ、低減量は大きくなる傾向がある。
- ・質量体の低減効果は奥行に依存し、奥行が長いほど低減効果は低い振動数から現れ、低減量は大きくなる傾向がある。
- ・低減効果の現れ方は加振点と質量体および受振点の位置関係に依存して変動する。
- ・重機の低速走行加振と高速走行加振では、低減効果の振動数特性はおおむね類似しており、加振力が変化しても位置関係が同じであれば、質量体は一定の低減効果を発揮する。

本研究では、一つの地盤条件において実大実験を実施して低減効果を検討したが、今後は異なる地盤条件でも検証を行い、結果を蓄積していく必要がある。さらに、数値解析によって実大実験で確認された現象を再現し、低減効果に影響を与える要素を定量的に評価することを目的としたパラメトリックスタディによる検討を進める予定である。

## 【参考文献】

- 1) 岩根 康之, 小林 真人, 内田 季延, 三浦 太郎, 千葉 泰河, 松本 泰尚: 振動制御装置を用いた建設振動の伝搬経路対策技術の開発 ―質量体と振動系の地盤振動低減効果の検討―, とびしま技報 No.66, pp. 55-60, 2018.

- 2) 岩根 康之, 小林 真人, 内田 季延, 三浦 太郎, 千葉 泰河, 松本 泰尚: 振動制御装置を用いた建設振動の伝播経路対策技術の開発 — 模型実験による質量体の地盤振動低減効果の検討 —, とびしま技報 No. 67, pp.29-34, 2019.
- 3) 早川 清: 地盤振動の伝播過程における防止対策の背景と動向, 日本音響学会誌 55 巻 6 号, pp. 449-454, 1999.
- 4) 千葉 泰河, 岩根 康之, 小林 真人, 松本 泰尚: 質量体を用いた環境振動の伝播経路対策 — 数値解析による振動低減メカニズムの検討 —, 土木学会第 75 回 年次学術講演会講演概要集, 2020.

**Summary** We are conducting development of countermeasure using mass-object in propagation paths for construction vibration. In this paper, we report the results of vibration reduction effect of mass-object in full scale experiment and the study of the influence of mass and the length in the propagation (hereafter referred to as the “depth”) direction of mass-object on the reduction effect.

In the experiment, three excitation methods were implemented, vibration generator, running of construction machine at low speed and high speed. As a result, mass-objects reduced vibration regardless of the excitation condition. Furthermore, the reduction effect was shown from a lower frequency, and the reduction amount tended to increase by increasing the mass of the mass-object and increasing the depth. The increase in the mass increased the force constraining the displacement of the ground surface, and the increase in the depth demonstrated the reduction effect against longer wavelength vibrations.

**Key Words** : *Construction Vibration, Countermeasure in Propagation Paths, Mass-Object, Full Scale Experiment*